

日本鋼管株式会社京浜製鉄所納め

焼結鉱クーラ用廃熱ボイラ

Waste Heat Recovery Boiler for Sinter Cooler Plant Delivered to Keihin Works, Nippon Kokan K.K.

最近、省資源、省エネルギーが強く叫ばれているが、鉄鋼業でも未利用廃熱源の回収が見直されてきた。

バブコック日立株式会社は製鉄所の廃熱源のうち、比較的保有熱量の大きい焼結鉱クーラの廃ガスに着目し、廃熱ボイラを組み合わせ蒸気として熱回収するシステムの開発に取り組んできた。

この論文では、本廃熱ボイラの開発計画に当たって、含塵ダストによる摩耗防止、設置スペースから要求されるコンパクト化、既存設備稼動中での据付工期の短縮と品質向上を図ったブロック組み工法の採用などについて、予備実験、調査の段階を踏まえて行なったが、その概要について述べる。

来田公平* *Kôhei Kita*

高田茂伸* *Shigenobu Takata*

1 緒言

鉄鋼業での未利用廃熱エクセルギの全産業界に対して占める割合は非常に大きく、製鉄所での回収可能な廃熱源として高炉、コークス炉、転炉・造塊、分塊圧延、熱風炉、焼結鉱などがあり、鉄鋼業各社は、近年の省エネルギーの要請とあいまって、その廃熱回収システムの開発に取り組んできた。バブコック日立株式会社も、積極的に省資源、省エネルギー

対策を推進している日本鋼管株式会社の指導を得て、焼結鉱クーラ廃ガスの熱回収システムとして図1に示す廃熱ボイラを完成したが、時代の要請である(1)最大限の熱回収、(2)設置スペースを考慮したコンパクト化、(3)既存設備稼動中のための据付工期の短縮、(4)短期間での設備投資費の回収が可能であることを前提条件として開発を進めたものである。

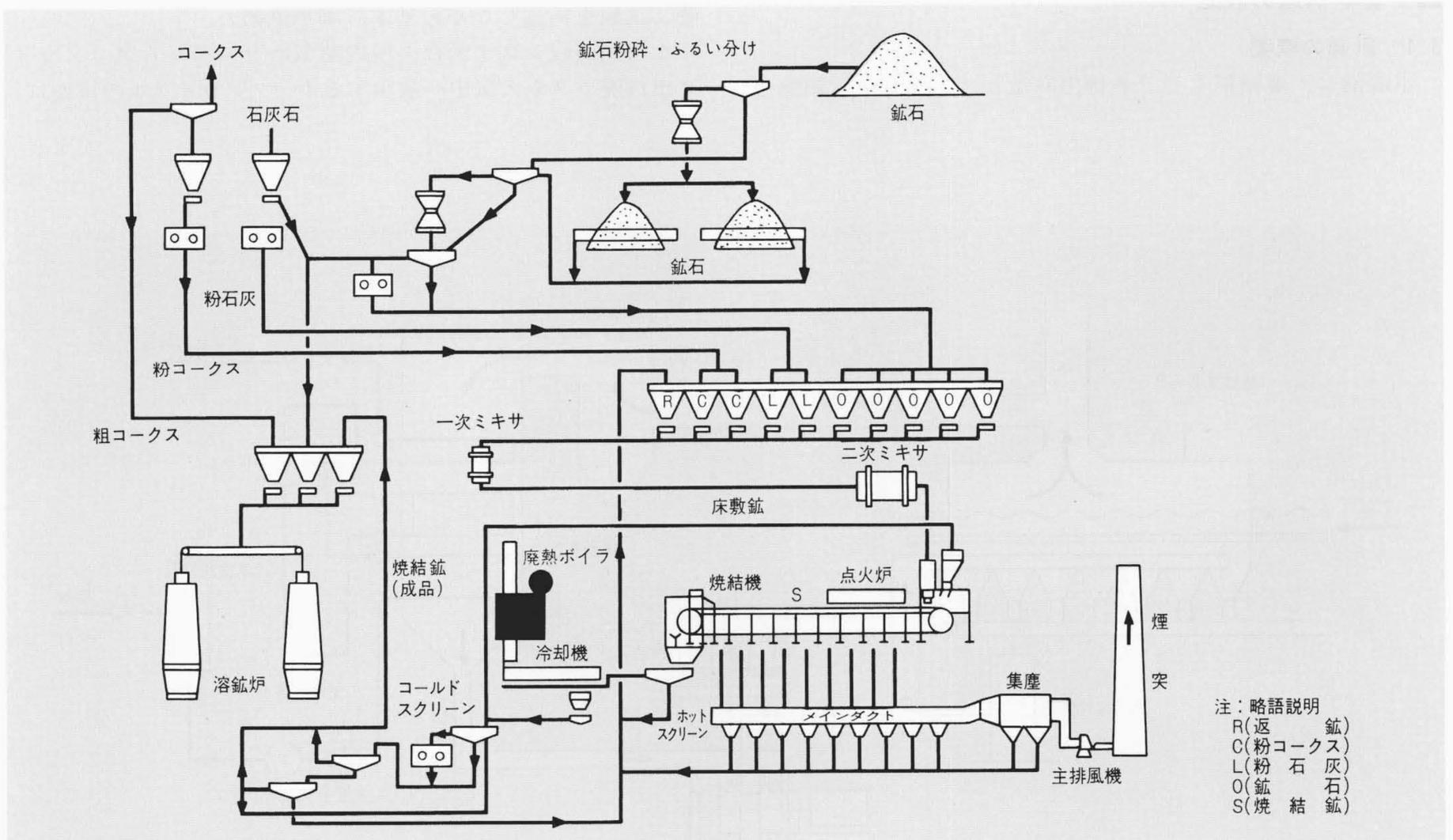


図1 焼結設備系統図 焼結鉱を冷却機の空気で冷却し、その排気ガスを廃熱ボイラへ導入し蒸気として熱回収する。

* バブコック日立株式会社横浜工場

開発の重点は、ボイラの基本形は比較的低い廃ガス温度での熱回収率の向上を図った強制循環式によるコンパクト化と経済性に優れた水平配置の小口径フィン付管の採用による効果的な熱回収システムの確立及び第1号ボイラとしてのハード面での技術的問題を解決することに置いた。

本廃熱ボイラの計画に際して、

(1) 現地据付スペース制限から調達可能な重機からブロックサイズを決定し、(2) 現地ばら組み方式と比較し、経済的に有利で溶接作業性の容易さなどから工場ブロック組みを採用するとともに、併せて品質管理の向上を図ることを前提条件として、従来の設計、製作の手法を大きく転換した。

昭和53年、日本鋼管株式会社京浜製鉄所に納入した焼結鉱クーラ用廃熱ボイラは、設備容量及びガス再循環による熱回収システムの点で、国内でも最初のものであり、かつ容量も最大で、その計画に当たっては各種の制約条件から新しい構造を採用せざるを得なかったが、数々の実験、調査に基づく技術検討の結果を踏まえて設計、製作を行なった。

以下、本廃熱ボイラに関する要点について述べるとともに、今後の計画に対する参考資料に供したいと考える。

2 仕様

本廃熱ボイラ設備は鉄鉱石粉を塊成化するための焼結設備で焼成された焼結鉱をクーラで空気により冷却し、高温になった空気の保有熱を蒸気として熱回収する設備である。また廃熱ボイラで冷却されたガスは、再びクーラの冷却用空気として循環使用される。本設備のフローシートを図2に示す。

焼結鉱クーラ、廃熱ボイラの主要仕様は表1に示すとおりである。

3 基本構造の設定

3.1 計画の概要

本設備は、焼結鉱クーラの排出高温ガスの保有する顕熱を

表1 焼結鉱クーラとボイラの仕様 焼結鉱クーラから導入可能な最大ガス量より、廃熱ボイラの設備容量を決定した。

項 目		仕 様
焼結鉱クーラ	形 式	サーキュラー形
	設 置 数	1 基
	鉄鉱石処理能力	12,000t/d
廃熱ボイラ	形 式	単胴式強制循環形
	設 置 数	1 缶
	伝熱面形式 過熱器 蒸発器 エコノマイザ	水平はだか管及び水平スパイラルフィン付管形 水平スパイラルフィン付管形 水平スパイラルフィン付管形
	循環ガス量	600,000N・m ³ /h
	循環ガス温度(ボイラ入口)	408°C
	同 上(ボイラ出口)	150°C
	蒸発量(設備容量)	73t/h
	蒸気圧力(過熱器出口)	ゲージ圧力14kg/cm ²
	蒸気温度(過熱器出口)	270°C
	最高使用圧力	ゲージ圧力20kg/cm ²
	給水温度(エコノマイザ入口)	20°C
循環ガス性状 ダスト含有量(プレダスタ入口) ダスト粒径 ガス組成	0.2g/N・m ³ 300μ以下 N ₂ =79vol%, O ₂ =21vol%	

蒸気として回収するもので、この種の廃ガスを取り扱ったものは国内でも初めての経験であり、本体構造の設定は各種の確認試験を実施しながら基本計画を進めた。

また熱回収システムは、所内蒸気バランスからエコノマイザ出口廃ガスを大気中へ放出するオープンサイクルのほかに、

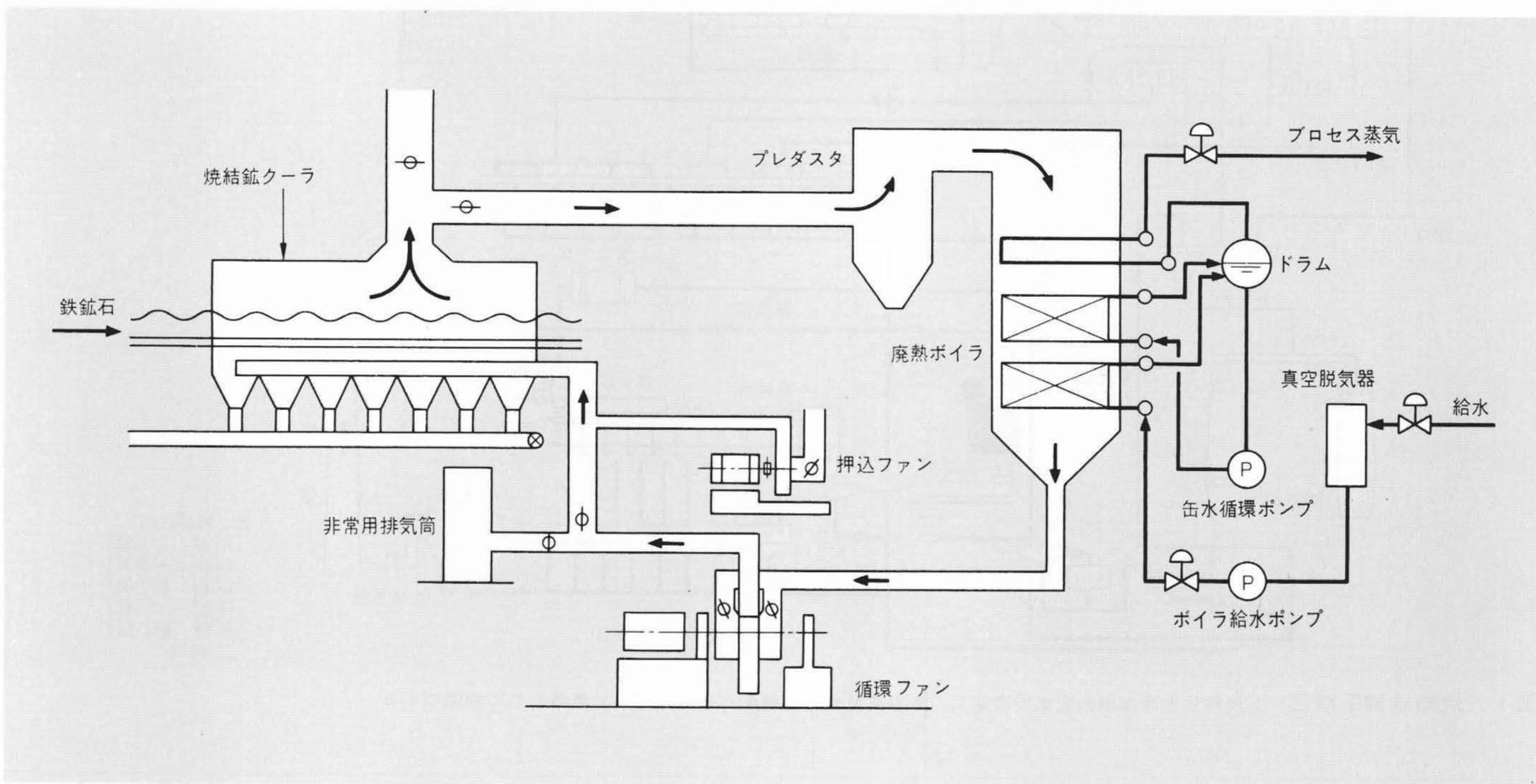


図2 焼結鉱クーラと廃熱ボイラ設備フローシート 蒸発量の制御は、クーラ用排気筒と非常用排気筒からのガスバイパスで可能とした。

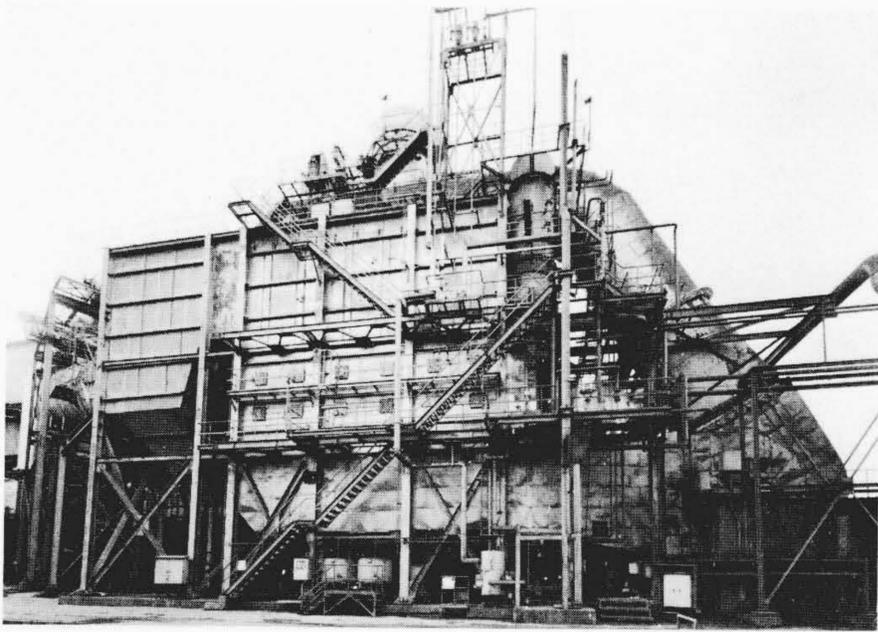


図3 焼結鉱クーラ用廃熱ボイラの外観 ボイラ右側面の外観を示す。左のブレダスタで除塵したガスを、中央のボイラへ導入する。

蒸発量を多くする目的でボイラで冷却されたガスを焼結鉱クーラに再循環させ、ボイラ入口ガス温度を高めるクローズドサイクルでも運転できるシステムを採用した。

本ボイラでは、次に述べる基本的な考え方で本体構造を決定した。ボイラの全景を図3に、組立図を図4に示す。

3.2 ガス再循環方式の採用

廃熱ボイラの蒸発量は、ガス量とボイラ入口ガス温度で決まる。言い換えれば熱源となる装置の負荷状態によって決定される。こうした廃熱ボイラでは、ガスのバイパス装置によってボイラへの導入ガス量を制御し、蒸気負荷を調整する方法が多く採用されている。

今回の焼結鉱クーラ廃熱ボイラでは、既設排気筒にダンパを設け、これを廃ガスのバイパス装置として流用することにより、蒸気負荷調整を行なう以外に、図2に示す焼結鉱クー

ラへのガス再循環方式により、蒸気負荷調整範囲を更に広げる計画を採用した。ガス再循環方式での運転とガス再循環を行わない運転時のマスバランスを比較すると、ガス再循環により約15%蒸発量を増加させることができる。また、ガス再循環方式は含塵ガスを大気に放出しないので、環境改善の面からも有利なシステムと言える。

ガス再循環方式を採用するに当たっては、焼結鉱クーラのガスシール部構造、各部の伸び、冷却効果などの点から、廃熱ボイラでできるだけ熱回収し、再循環ガス温度を下げる必要がある。本計画では、ピンチポイントをできるだけ小さくし、かつ焼結鉱クーラ排ガスが高温空気であり腐食性成分を含まないことから、エコノマイザに常温の給水を流入させ、エコノマイザでの熱回収を多くして廃ガス温度を下げ、ガス再循環方式の採用を可能にした。

3.3 既存設備と協調したボイラの構造

本廃熱ボイラは、比較的低温のガスを取り扱うため、ガスと伝熱管部の温度差が小さく、また多量のガスを取り扱うために、所定の熱回収を行なうのに多くの伝熱面積を必要とする。また、既設焼結鉱クーラに隣接して配置されるために設置スペースに制約があり、できるだけコンパクトな設備とすることが要求された。

こうした制約条件を考慮して、以下に述べるようなダストに関する各種の分析と約1箇年の確認試験を実施して、伝熱特性の優れたスパイラルフィン付管を採用することとした。

伝熱管群内のガス流速は、熱伝達、ドラフト損失、伝熱管の振動、ダストによる摩耗など総合評価の上決定されるが、廃熱ボイラでは、特に熱源となる装置によってダストの性状が異なるケースが多く、ダスト付着に伴うドラフト損失の経時的増加、伝熱抵抗の増大、ダストによる摩耗の進行など、ダストに対する十分な配慮が必要である。表2に各種含塵ガスの流速基準を示す。

本計画の焼結鉱クーラ廃ガス中にも、比較的少量ではあるが酸化鉄を主成分とした硬度の高いダストが含まれており、

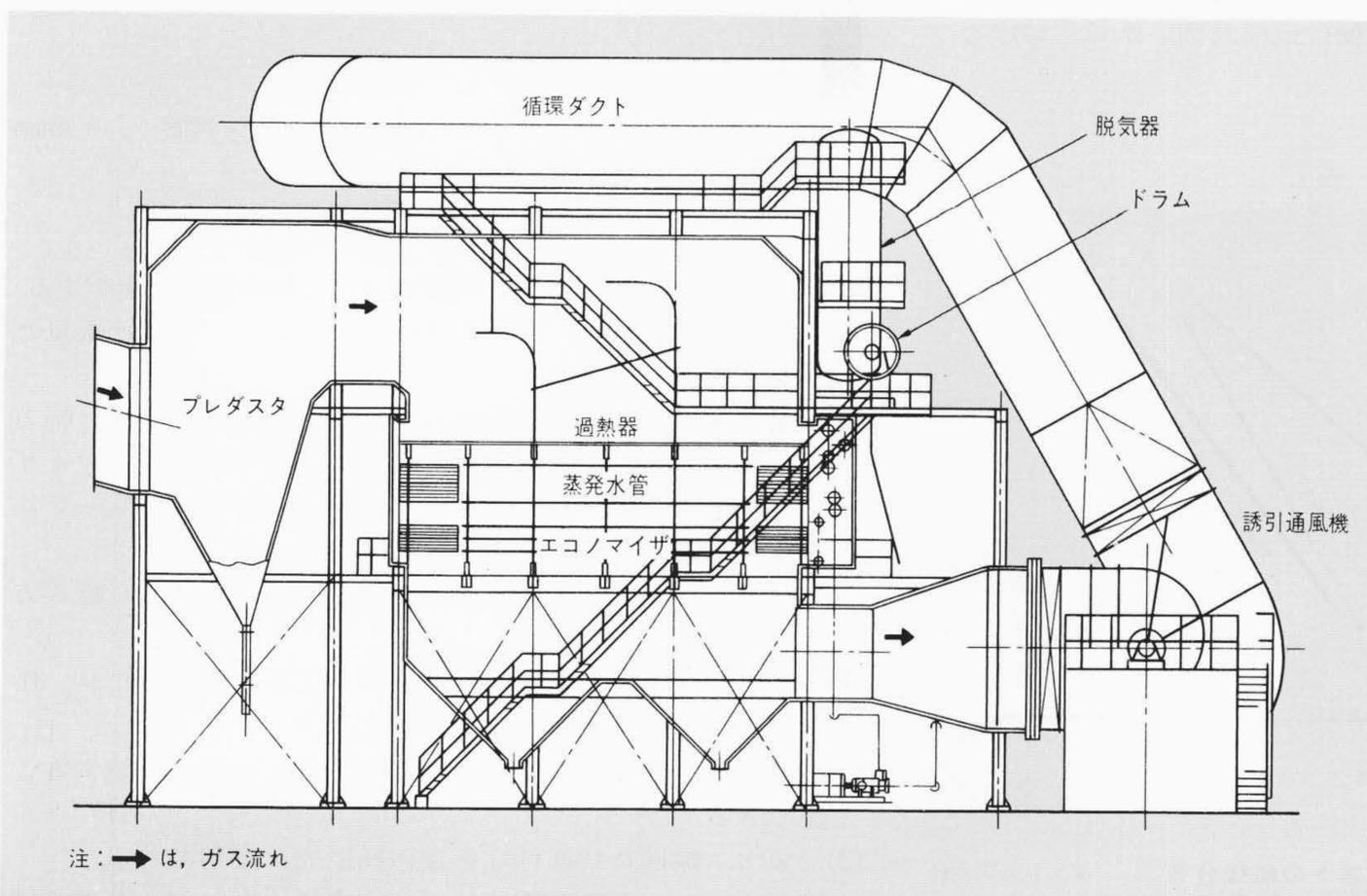


図4 73t/h焼結鉱クーラ用廃熱ボイラ側断面
ボイラで冷却したガスは、クーラの冷却空気として循環する。

注：→は、ガス流れ

表2 各種含塵ガスの流速基準 ダストの性状により、摩耗を考慮してガス流速を設定している。

燃料と燃焼ガスの種類	ガス流速の基準
微粉炭	20~23 m/s
スプレッド・ストーカ	15~18 m/s
バガス	18~23 m/s
高炉ガス	23~30 m/s
セメントキルン廃ガス	10~14 m/s
砂塵を含む廃ガス	15~18 m/s

摩耗についての十分な配慮が必要であった。また図5に示すように、ダスト粒径が小さいことから粒体粒子の分子間力による付着も考えられ、前述の摩耗についての確認も含めて図6に示すテストピースを、稼動中の焼結鉦クーラ排気煙道に挿入して、7,850時間にわたる確認試験を実施した。図7に7,850時間実験後でのテストピースの状態を示す。

本実験と従来経験から、フィン高さ、ピッチを適正に選択することにより、伝熱管としてフィン付管を採用できることを確認するとともに、経済性の検討をも加えて管の配列と仕様を決定した。更に、テストピースの摩耗状態を整理し、伝熱特性、ドラフト損失の評価から実機のガス流速を設定し、ボイラの基本構造を確立した。

3.4 本体構造とブロック組み工法の採用

3.4.1 主要耐圧部のブロック化

設置スペースの制限から高伝熱指向の小口径フィン付管を採用したが、この伝熱管の支持方式を容易にするために水平配置構造による強制循環方式のボイラを採用した。これらの基本条件から、品質管理面と工期短縮化を目的とした本体のブロック組み工法の採用に際しては、ブロック寸法と重量は、据付現場の制限と現地での調達可能な重機サイズを基に下記のステップで行なった。

- (1) ボイラ立地と周囲条件により制限される重機の回転半径、ブームつり角度及びつり上げ重量から選択する。
- (2) 工場～現地間道路制限と据付地構内制限から、可能なブロック寸法と重量を選択する。

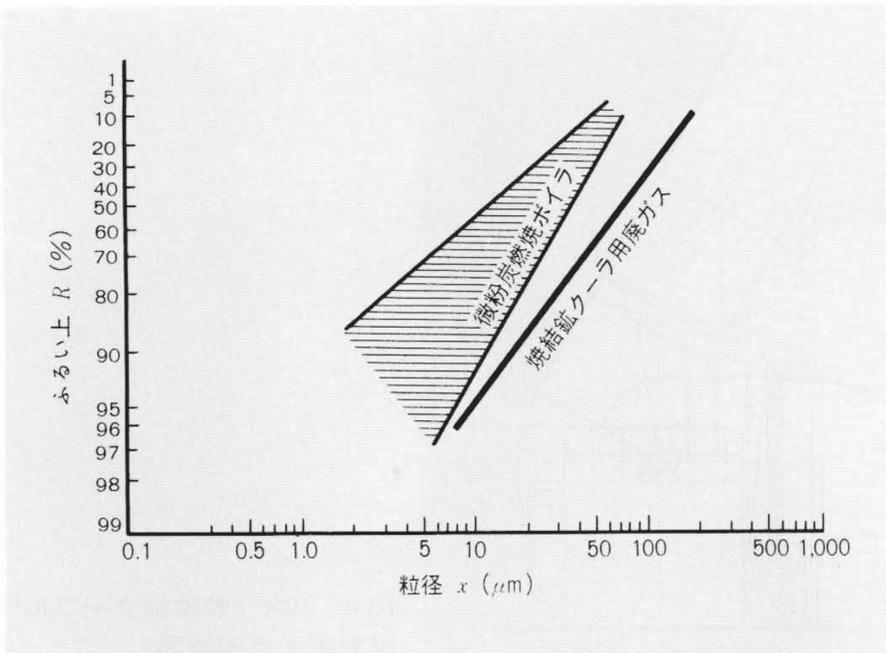


図5 焼結鉦クーラ用廃ガスダストの粒径分布 ダストの平均粒径は55μ、最大300μである。

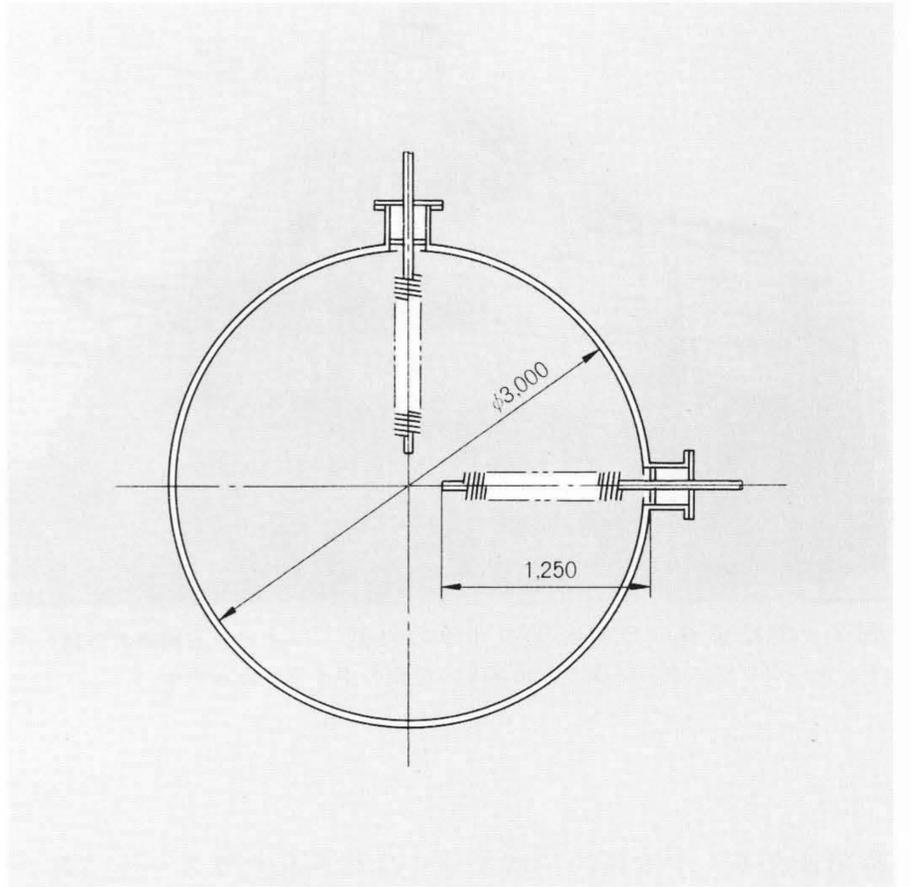


図6 ダスト付着と摩耗の確認テストピース 3種類のスパイラルフィン付管を排気煙道中に挿入し、7,850時間の実験を行なった。

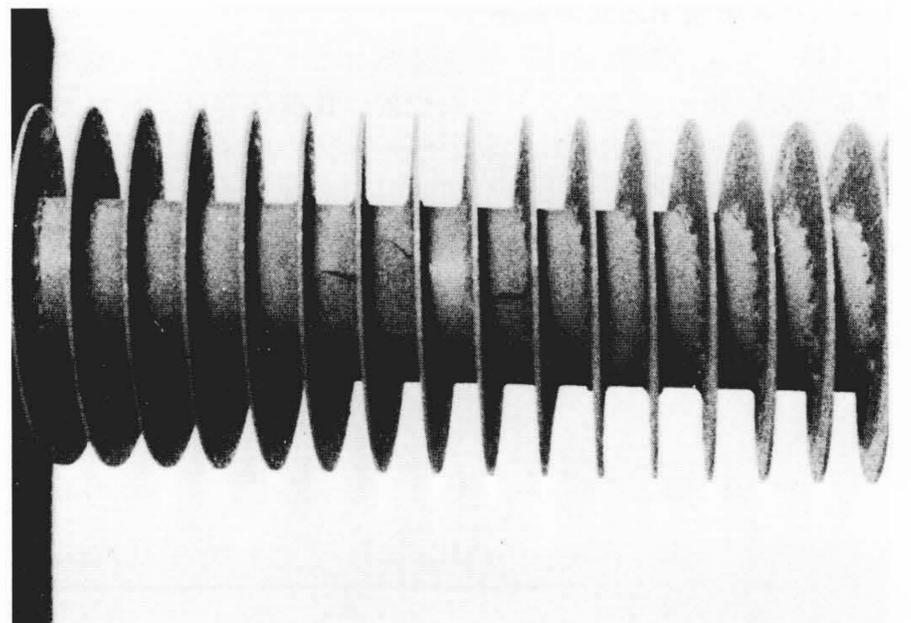


図7 焼結鉦クーラ排気煙道内に挿入したフィン付管 7,850時間後の状態でのダスト付着と摩耗は認められない。

- (3) 輸送手段とするトレーラの積載寸法と積載重量を選択する。
- (4) 工場内設備能力、特に定置形クレーンのつり上げ重量とつり上げ高さを選択する。

以上の選択上の制限条件のもとに経済比較を行ない、幅方向のブロック分割を決定した。図8に工場内のエコノマイザブロック組立て状況を、図9に現地据付時の150tクレーンによる蒸発水管ブロックのつり上げ状況を示す。

今回実施したブロック組み工法は、従来の現地ばら組み方式と比較し、

- (1) 小口径管の組立てと溶接がすべて工場内作業となり、作業環境面から品質管理の向上が図れる。
- (2) 工場製作と現地据付けを含めた工期を大幅に短縮することができる。
- (3) 製作、輸送及び据付けを含め経済的に有利である。

以上のことから総合的にみて、この種の廃熱ボイラでのブ

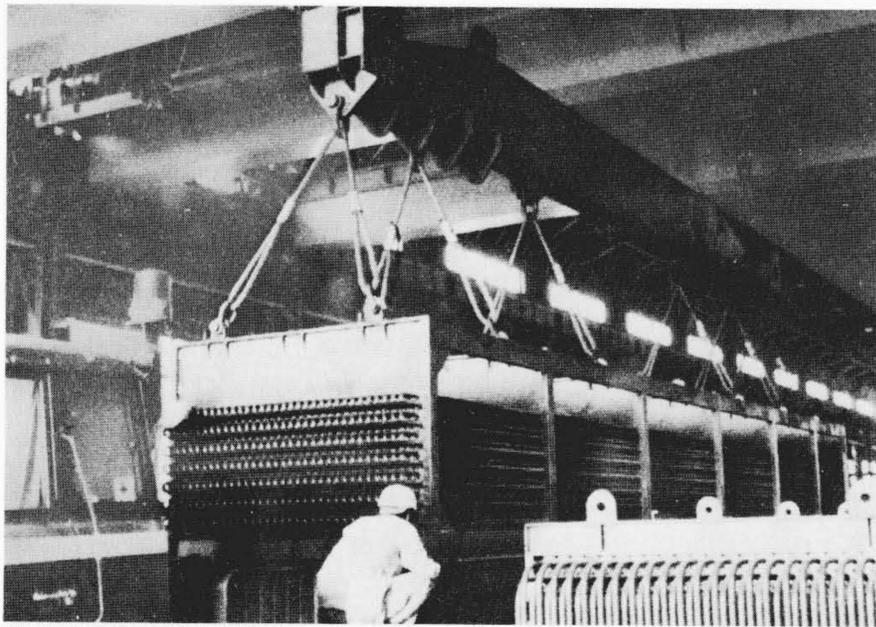


図8 エコノマイザブロックの外観 定置形クレーンによりトレーラに積載し、工場からの出荷状況を示す。

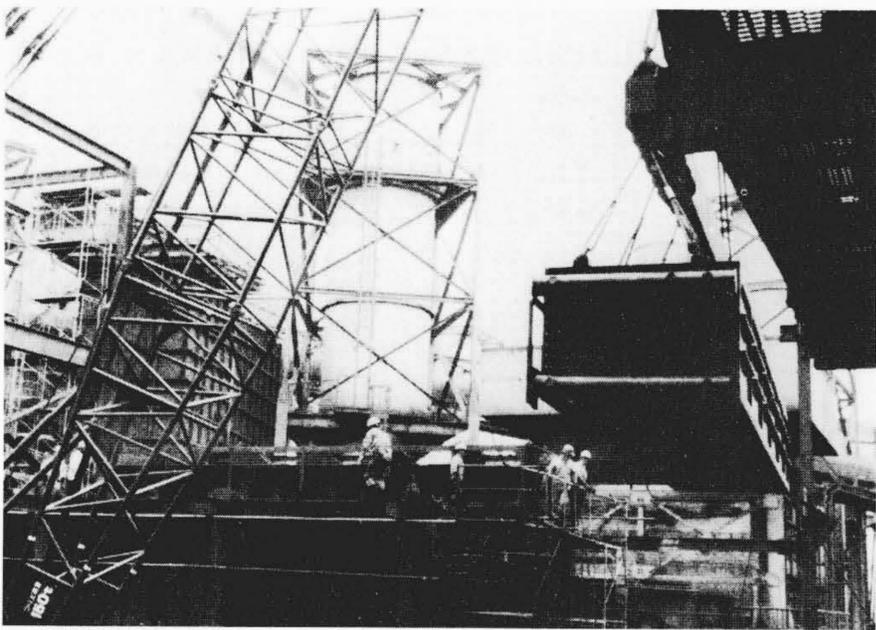


図9 蒸発水管ブロックの据付 左側の150tクレーンでつり上げ、鉄骨架台上に設定する。

ロック組み工法の有利さは十分であり、更に進められると考える。

3.4.2 鉄骨とケーシングの一体化構造

本廃熱ボイラは、その構造上鉄骨強度メンバーを骨組みとし、ケーシング、煙道及びプレダスタを鉄骨柱、梁に溶接取付けし、その鋼板部材をブレイシングとして等価断面で評価した一体化構造とした。また、本体ケーシングと煙道は、ガス中のダスト摩耗対策として内側に鋼板によるプロテクションプレートを取り付け、その間に保温材を挿入した二重構造として、鉄骨に溶接取付けするケーシングの温度を下げることで鉄骨との伸び差を少なくし、かつケーシング表面からの放散熱量の低減を図った。この構造の採用により、鉄骨とケーシング類の非圧部についても大幅なプレハブ化を行ない、工期の短縮ができた。

3.5 捕集ダストの空気輸送方式による環境改善

焼結鉱と焼結鉱用クーラで捕集したダストは、通常チェーンコンベヤ又はベルトコンベヤで回収している。この場合、粉塵飛散による環境悪化、駆動装置による動力費や回転機械の定期的な保守・点検などに難点があり、これらを解消するために今回採用したのが工場余剰圧縮空気を使用した粉体輸送方式である。図10に示すようにプレダスタ、本体ホッパに

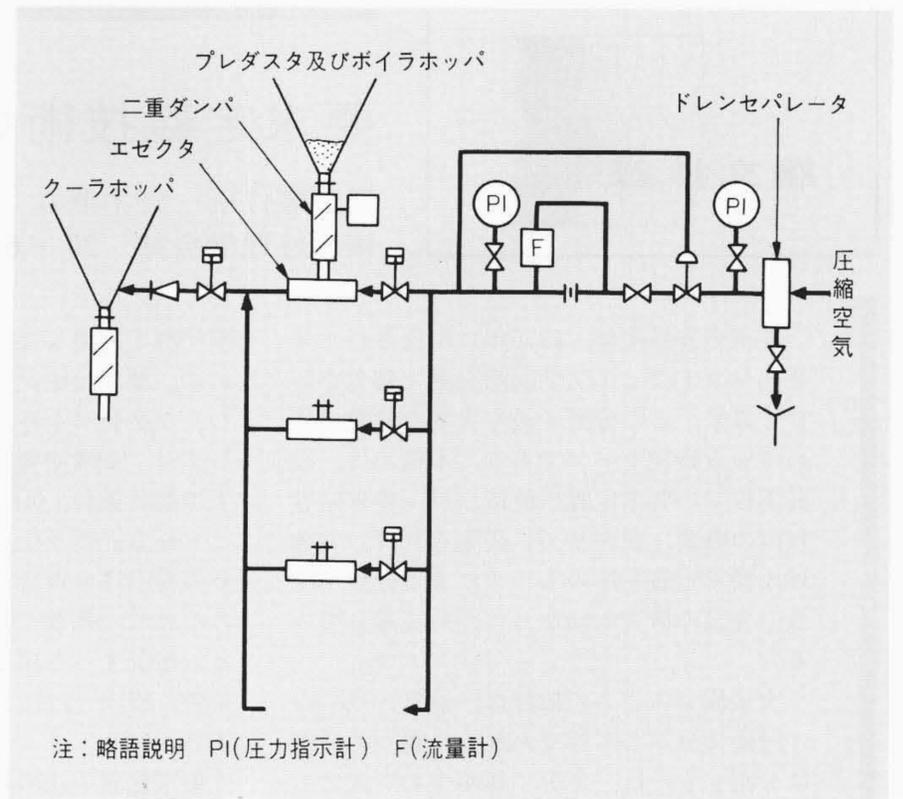


図10 圧縮空気によるダスト回収系統 ダストはタイマによる間欠運転により、自動的に回収される。

堆積した捕集ダストをエゼクタ効果を利用し、二重シールダンパと輸送管設置の電磁弁を連動させ、自動制御によりクーラホッパへ回収する方式である。輸送管内面は、硬度の高い粒鉱ダストによる摩耗減肉が予測される分岐部や曲げ部は、バサルト加工などで防止するとともに、分解点検と補修が容易なフランジ付短管とした。この粉体輸送方式の採用により、装置外への粉塵飛散の防止ができ環境改善が図られるとともに、設備の軽量化と動力費の低減による省エネルギーを達成することができた。

4 運転特性

ボイラ入口でのガス量とガス温度はクーラの運転条件により相当の変動があり、これに伴って蒸気流量が敏感に変動する。したがって、給水制御は導入ガスの変動を考慮し、電子式二要素給水制御方式を採用し、更に気水分離装置にはサイクロンセパレータを配置して純度の高い蒸気を取り出すとともに、気胴水位の安定化を図った。気胴水位はガス条件の変動時でも±10mm以内であった。なお、サイクロンセパレータの設置により、所定の蒸気純度も得られ、過熱器出口蒸気温度など当初の計画値を満足する性能を確認できた。

5 結 言

以上、本廃熱ボイラの概要について述べた。本ボイラは、焼結鉱クーラ設備固有の条件に対応するよう、バブコック日立株式会社の現在までの各種ボイラの設計、製作、据付及び運転実績と合わせ、必要な実験・調査結果を加味して信頼性、熱回収効率の高いプラントとして建設された。6箇月間の運転実績から、当初の計画値どおりの性能と安定した操業運転が確認されており、製鉄所での省エネルギー推進の一端に寄与していると確信している。今回のスパイラルフィン付管を採用した構造とブロック据付工法などは、今後各種の省エネルギー廃熱ボイラに対し幅広く応用が図れると考える。

終わりに、本ボイラの設計、製作及び据付に御協力をいただいた日本鋼管株式会社の関係各位に対し、深く感謝する次第である。

要求定義技術の動向

日立製作所 野木兼六

情報処理学会誌 20—6, 487 (昭54-6)

要求定義技術は、1976年に開催された第2回ソフトウェア工学国際会議で脚光を浴びて以来、この分野で最も大きな話題を集めている研究テーマである。本稿では、設計工程での要求定義の位置づけ、要求定義技術の概要、現在までに提案されている各種の要求定義手法のモデルによる分類や特徴、今後の研究動向などについて論じている。

大規模システムの設計は、通常、幾つかの段階に分割して行なわれる。幾つの段階に分割するかは、多分に運用上の問題であるが、本稿では、システム設計、ソフトウェア設計、モジュール設計という三つの段階に分割し、更に、それぞれの段階を要求定義(あるいは要求分析)と設計生成という二つの段階に分割するという立場をとっている。要求定義は、「何を」するかを明確にする作業であり、設計生成は、「いかに」するかを決定する作業である。

要求定義を行なうには、まず第一に、要

求仕様を記述しなければならない。このために、要求仕様記述言語(図的な言語も含む)が必要になる。記述すべき要求項目としては、(1)機能要求、(2)性能要求、(3)設計上の制約条件、(4)その他の情報、などが考えられる。要求仕様が記述されたならば、その妥当性を検証しなければならない。このために、各種の解析的手法が必要になる。検証すべき項目には、(1)一貫性、(2)完全性、(3)正当性、(4)追跡可能性、などがある。

要求定義手法の分類法としては、適用段階によって分類する方法、データ中心か制御中心かによって分類する方法などが考えられるが、本稿では基本となるモデルによって分類するという方法をとっている。代表的なモデルには、機能階層モデル、グラフ・モデル、関係モデルなどがある。機能階層モデルは、システムの機能を階層状に分解し、各階層での入力と出力の対応関係を明示するもので、直感的に理解しやすいと

いう特徴をもつ。この例としては、SofTech社のSADT、BCSのSAMM、MITのHOSなどがある。グラフ・モデルの特徴は、形式的な取り扱いができることであり、米軍のソフトウェア開発支援システムSDSの一環として詳しく研究された。この例としては、検証グラフ、有限状態機械、ペトリ・ネットなどによる方法がある。関係モデルは、要求を形式化された自然語によって表現するもので、記述能力が大きいこと、拡張性に富んでいること、強力な支援システムが作りやすいこと、などの特徴をもつ。この例としては、ミシガン大学のISDOS(PSL/PSA)、TRW社のSREMなどがある。

要求定義技術は、まだ非常に未熟な段階にあり、今後、より強力なモデルの検討、要求定義から設計生成への接続方式の検討など、解決しなければならない技術的課題も多い。

マイクロコンピュータによるDDC

日立製作所 佐藤 隆

計測自動制御学会誌 18—9, 730 (昭54-9)

プロセス制御の方式には、従来のアナログ方式の工業計器によるものと、1960年代に登場したDDC(Direct Digital Control)とがある。特に後者については、従来の工業計器の限界を越えるものとして期待されながら、種々の理由からこれまではプロセス制御の主流を占めるには至らなかった。しかし、1971年に登場したマイクロコンピュータによれば、従来の工業計器によるアナログ計装と融合する新しいDDCへの可能性が予想されるようになった。

この新しいDDCは分散形計装システムとも呼ばれ、発表後間もないころには単にフィードバック制御数ループないしは数十ループの機能を、マイクロコンピュータによって置き換えたものであるとの批判もあったが、最近では計装方式の分類にもDistributedと明記されるようになり、ようやく分散形計装システムの名も定着したかに思われる。

分散形システムはマイクロコンピュータ1台当たりの制御ループ数を指標にすると

大きく二つに分類される。すなわち、制御ループ数が32以上のものと、16以下のものとのである。この両者は種々の比較項目で興味ある対照をなしており、最近ではこれらをDistributed及びMultiloop Controllerとして区別するようになってきている。

計装システムを計画する場合、アナログ方式による場合にも分散形システムによる場合にも、取り扱う情報について本質的な差はない。前者についてみれば、計器の種類、計器ごとの設定すべき制御定数及び計器間の相互接続である。後者ではマイクロコンピュータのメモリ内に仮想計器があり、このメモリ内に計装システムを作りあげることになる。要はどのようなソフトウェアの手法により上記の諸情報をメモリに送り込むかであるが、技術的眼目は種々の制御ループの機能をいかに標準化し、どのようにして機能の拡張性と価格とのバランスをとるかにある。これには二つの手法があり、Distributedの立場をとるものはおおよそ従来の工業計器の機能単位にソフトウェア

をモジュール化し、Multiloop Controllerにあつては制御ループ単位に標準化プログラムを用意している。

DDCの演算アルゴリズムについては、従来の工業計器での比例、積分、微分演算と本質的な相違はない。すなわち、微分先行不完全微分など従来手法を継承している。当然ながらデジタル演算ゆえの変形を施している。演算式を差分形に変形し、速度形演算を実施し、またPV値微分と偏差微分とを使い分けているなどである。

分散形システムは出現後間もない若い製品であり、軽々しい将来の予測は困難であり、また、この市場には新規メーカーの参入も報じられるなど経営上の胎動も感じられる。究極の課題としては、「アナログ計装とデジタル計装との融合」にあると思われるが、ここに至る重要なポイントとしてSingle Loop Controllerもあり、この過程にはなお様々の曲折が予想される。